

橋梁ヘルスマニタリングに向けた光ファイバ傾斜計による固有振動計測

(株)NTTデータ 正会員 ○石川 裕治* 横浜国立大学 正会員 佐々木 栄一**
 (株)NTTデータ 正会員 布留川 信悟* (株)NTTデータ 正会員 宮崎 早苗*
 横浜国立大学 正会員 山田 均**

1. はじめに

地震等の広域災害発生時には多数の橋梁が被害を受けると予想され、交通の混乱防止や円滑な復旧のために迅速な被災状況の把握が重要課題となっている。また、平常時においても大型車両の通行により橋梁の損傷が日々進展するため、定常的な橋梁健全性の監視（橋梁ヘルスマニタリング）が必要とされている。これら二つの課題に対し、既存の光通信網を活用できる光ファイバセンサを利用した橋梁監視システムの実現が期待されている¹⁾。

筆者らは橋梁監視システムの実現を目指し、これまで、高感度な光ファイバセンサである Fiber Bragg Grating 方式の傾斜計(FBG 傾斜計)を利用し、災害時の被害状況把握を目的とした桁の傾斜計測方式を開発してきた²⁾。一方、この FBG 傾斜計を平常時の橋梁ヘルスマニタリングに活用する研究は行われていない。しかし、橋梁監視システムの実現においては、平常時・異常時ともに活用可能なセンサシステムの構築がコスト面からも望まれている。

そこで本研究では、固有振動数の低下によって橋梁のヘルスマニタリングが可能であることに着目し³⁾、FBG 傾斜計による固有振動計測の可能性について実橋での計測実験に基づき検討を行った。

2. FBG 傾斜計による固有振動の計測方法

固有振動数の低下は橋梁構造の剛性低下を示すものであり、コンクリート橋であればひび割れやアルカリ骨材反応、鋼橋であれば溶接部の亀裂や床版剥離の発生を早期に発見できる可能性がある³⁾。

FBG 傾斜計の構造を図 1 に示す。FBG 傾斜計は振り子と板バネによって傾斜に比例したひずみが発生する機構を持ち、そのひずみを FBG ひずみ計で計測する構造となっている。この構造では、傾斜が生じていなくても FBG 傾斜計本体に振動が加わると板バネの動ひずみとして振動が計測される。本稿では加速度計データと区別するために FBG 傾斜計の計測データをすべて「傾斜」と呼ぶ。

本研究では高速フーリエ変換(FFT)によってパワースペクトル密度を得て、そのピークにより固有振動を特定する。振動の振幅が大きい場合、FBG 傾斜計では内部の振り子の固有振動がパワースペクトル密度のほとんどを占め、橋梁の固有振動に相当するピークを検出することが難しい。そのため、パワースペクトル密度の算出時には、傾斜計の計測データから車両通過時の振幅が大きい部分を除去し、常時微動の部分の計測データを用いる。

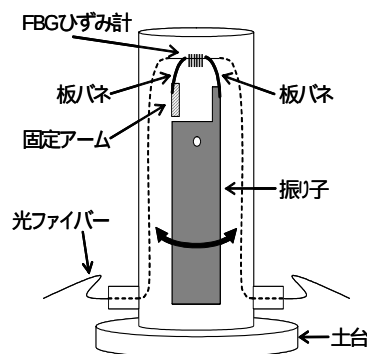


図 1. FBG 傾斜計の構造

3. FBG 傾斜計による固有振動の計測実験

実験では制振装置(Tuned Mass Damper, TMD)が設置された橋梁で計測を行い、TMD 稼働時の振動が小さな状態を健全状態、TMD 停止時の振動が大きな状態を損傷状態と想定し、検討した。そして、TMD の停止による振動増加を固有振動の増加として確認できるかどうかによって、FBG 傾斜計の橋梁ヘルスマニタリングへの適用

キーワード： 光ファイバセンサ、モニタリング、橋梁、傾斜計、固有振動、TMD

* 〒135-6033 東京都江東区豊洲3-3-3 豊洲センタービル TEL 050-5546-2041 FAX 03-5546-8433

** 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7 TEL 045-339-4041 FAX 045-339-4565

可能性を検証した．計測時には3軸加速度計をFBG傾斜計と同じ箇所に設置し，傾斜計データと同じ処理を行って検証用の正解データとした．計測時のサンプリング周波数はデータ収集装置の最高性能で行い，FBG傾斜計は250Hz，3軸加速度計は180Hzとした．

実験を行った橋梁は一方3車線の1-桁橋（スパン34.5m）で，スパン中央の横桁にTMDが3台設置されている．実験ではたわみ振動が最大になると考えられるスパン中央で計測を行い，FBG傾斜計と3軸加速度計を近接してスパン中央の横桁上に設置した．以下の説明で振動方向を示す場合には，橋軸方向をX軸，橋軸直角方向をY軸，鉛直方向をZ軸とする．計測はTMD稼動時と停止時のそれぞれで平日24時間分のデータを収集し，パワースペクトル密度を算出した．

4．FBG傾斜計による固有振動の計測結果

3軸加速度計の計測データ

から得られたパワースペクトル密度を図2に示す．すべての方向の振動に対して3.4Hzにピークが見られるが，TMD稼動時と比較して，TMDを停止することで，この固有振動が増大していることが分かった．また，X軸方向の2.4Hz付近，Y軸方向の4Hz付近にも水平方向の固有振動があることが分かった．

次に，FBG傾斜計のパワースペクトル密度を図3に示す．加速度計と同様に3.4Hzの固有振動に関して

TMD停止による固有振動数の増大を確認できた．また，FBG傾斜計の傾斜計測方向を変えることで，各方向の水平固有振動（X軸方向の2.4Hz付近，Y軸方向の4Hz付近）を計測できることが明らかになった．

4．まとめ

本稿では光ファイバ傾斜計による橋梁のヘルスマモニタリングを目的として，実橋梁での計測実験を行い，橋梁の固有振動の変化をFBG傾斜計の計測データから検知できることを明らかにした．このことから，橋梁の損傷が進行し，振動の増大や固有振動数の低下が発生した場合には，FBG傾斜計により異常を検知できると考えられる．今後は橋梁ヘルスマモニタリングシステムを構築し，実橋での長期計測実験を行うことで，橋梁損傷の診断方式を確立する予定である．

参考文献

- 1) 三木他，光通信網を使用した鋼橋梁の健全度評価モニタリングシステムの開発，土木学会論文集，No.686-VI-52，pp. 31-40，2001.
- 2) Sasaki et al.，Development of Optical Fiber Inclinoimeters for Bridge Monitoring，Proc. of WCEAM，2006. (to appear)
- 3) 西村他，橋梁の損傷評価における力学的挙動の有効性，土木学会論文集，No.380-I-7，pp. 355-364，1987.

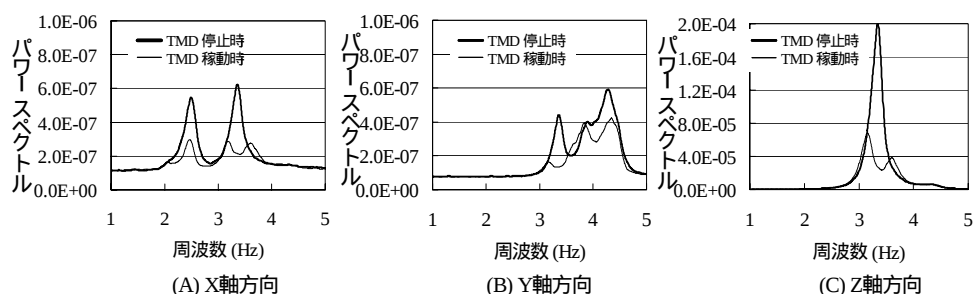


図2 加速度計データから算出したパワースペクトル密度

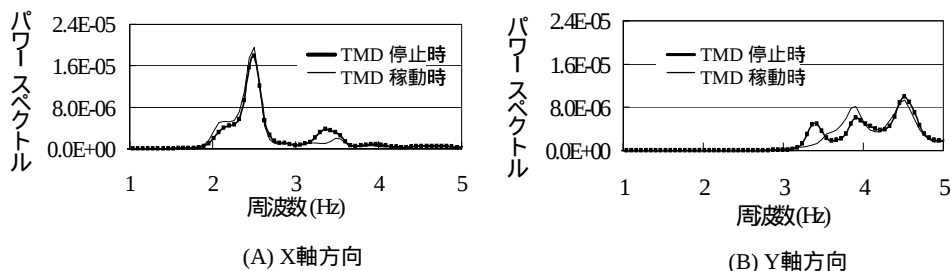


図3 FBG傾斜計から算出したパワースペクトル密度